

Из результатов видно, что параметры изотропной модели оказались выше параметров анизотропной модели. Такой результат указывает на то, что упущение из модельного построения анизотропии может приводить к завышению параметров разработки, что может вызвать негативные последствия в будущем. Этот факт вновь подтверждает влияние анизотропии проницаемости на разработку.

Завещающим расчётом стал расчёт анизотропной модели со всеми предложенными решениями по улучшению на срок равный пятнадцати лет, т.е. вплоть до 2028 года (таблица 5).

Таблица 5

**Результаты расчётов улучшенной системы разработки**

Параметры разработки, млн м <sup>3</sup>		
Год	2018	2028
Q <sub>o</sub>	3,069	3,700
Q <sub>w</sub>	5,237	11,998
Q <sub>inj</sub>	8,745	16,607
КИН	0,231	0,278

Литература

1. Якуцени В.П. Нетрадиционные ресурсы углеводородов - резерв для восполнения сырьевой базы нефти и газа России / В.П. Якуцени, Ю.Э. Петрова, А.А. Суханов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2009 (4). – 20 с.
2. Пятибратов П.В., Аубакиров А.Р. Оценка влияния анизотропии пласта по проницаемости на эффективность циклического заводнения / П. В. Пятибратов, А. Р. Аубакиров // Экспозиция нефть газ. - 2016. - № 5. - с. 35 – 37.с.
3. Clavaud J.B., Mainault A., Zamora M. Rasolofosaon P. and Schlitter C. Permeability anisotropy and its relations with porous medium structure / J.B. Clavaud, A. Mainault, M. Zamora, P. Rasolofosaon, C. Schlitter // Journal of geophysical research. – 2008. – Vol. 113. – p. 1-10.
4. Ермаков Р.И. Влияние анизотропии проницаемости на гидродинамическое моделирование и оптимизацию разработки северного блока Крапивинского нефтяного месторождения: магистерская диссертация / Р. И. Ермаков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД); науч. рук. В. П. Меркулов. – Томск, 2018.
5. Ермаков Р.И. Исследование анизотропии фильтрационных свойств терригенных коллекторов: Труды XXII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» / Р.И. Ермаков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД); науч. рук. В. П. Меркулов. – Томск, 2018.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА (НА ПРИМЕРЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА)**

**Г.М. Жиров**

Научный руководитель - доцент А.В. Никульчиков

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

Стремительное сокращение числа месторождений с легкоизвлекаемыми запасами является одной из тенденций последних десятилетий. В связи с этим приходится сталкиваться с все большим количеством проблем при добыче нефти, решение которых путём применения классических методов увеличения нефтеотдачи, становится невозможно. По этой причине возникает необходимость в использовании более эффективных, но в тоже время и более сложных МУН, одним из которых и является закачка в пласт CO<sub>2</sub> [1].

Углекислый газ (CO<sub>2</sub>, диоксид углерода, двуокись углерода) – бесцветный газ, тяжелее воздуха. При нормальных условиях имеет плотность 1,98 кг/м<sup>3</sup>. Углекислый газ не токсичен, запаха не имеет.

Причиной продуктивного эффекта от применения данной технологии является в первую очередь высокая способность углекислого газа растворяться в пластовой воде и нефти. Взаимодействие CO<sub>2</sub> с нефтью приводит к увеличению её объёма, снижению вязкости, что в свою очередь способствует вытеснению остаточной неподвижной нефти из пласта. Снижается межфазное натяжение на границе нефть-вода, улучшается смачиваемость породы водой, что приводит к увеличению коэффициента вытеснения. Растворение углекислого газа в воде приводит к образованию угольной кислоты, способной растворять некоторые виды цементов и пород пласта, тем самым увеличивая его проницаемость [1].

Экологическая эффективность применения данного метода также не может быть не замечена. Эффективный способ утилизации парниковых газов, во избежание глобального потепления, в естественных захоронениях как никогда актуален в наши дни.

Первое опытное нагнетание диоксида углерода было осуществлено в США в 1949 году. Его результаты оказались весьма успешными, и, в данный момент, из 136 реализующихся в мире проектов по закачке углекислого газа 128 осуществляется на территории Соединенных Штатов, что делает их несомненными лидерами в данном направлении [2].

Одни из наиболее крупных проектов по использованию метода нагнетания диоксида углерода в США представлены в таблице.

Относительно молодой, но весьма преуспевающей и перспективной компаний является Denbury Resources Inc, осуществляющая свою деятельность на территории двух крупных регионов: Gulf Coast и Rocky Mountain.

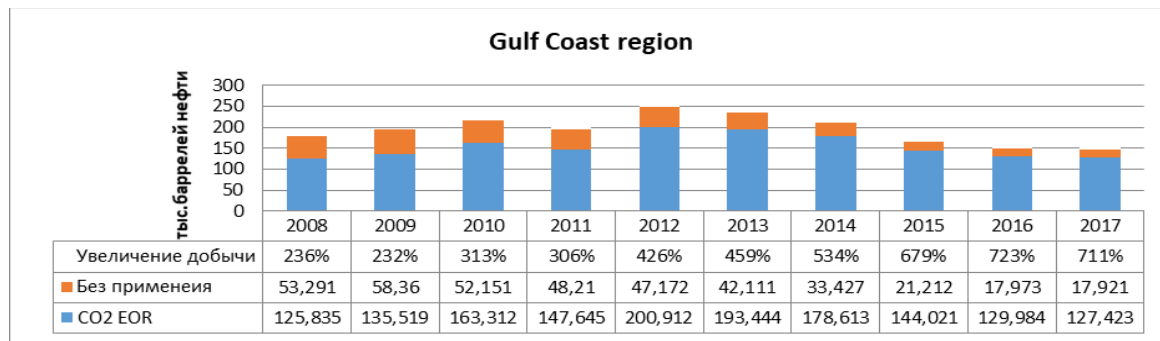
## СЕКЦИЯ 11. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На основании годовых отчетов компании были построены диаграммы, отраженные на рисунках 1 и 2. Вы можете увидеть вклад, который оказывает применение данной технологии в регионах деятельности компании Denbury.

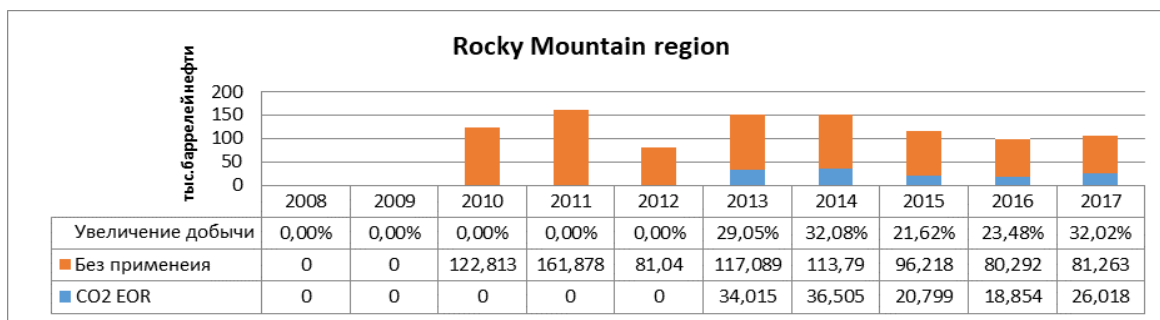
**Таблица**

**Крупнейшие проекты по использованию нагнетания диоксида углерода для увеличения нефтеотдачи [3]**

Компания	Регион	Месторождение	Площадь, км <sup>2</sup>	Доп. добыча, барр./сут
Altura	Permian	Wasson	113	29000
Amerada Hess	Permian	Semi-nose	64	25900
Chevron	Rocky Mountain	Rangely Weber Sand	61	11208
ExxonMobile	Permian	Salt Creek	49	9300



**Рис. 1 Доля применения метода CO<sub>2</sub> EOR в общем количестве запасов на месторождениях Gulf Coast region**



**Рис. 2 Доля применения метода CO<sub>2</sub> EOR в общем количестве запасов на месторождениях Rocky Mountain region**

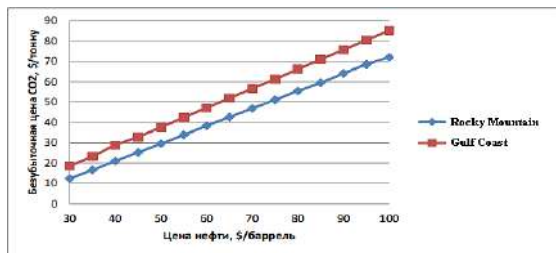
Как видно из рисунков 1 и 2, данный метод позволяет весьма значительно увеличить нефтеотдачу пласта, вплоть до 700% дополнительной добычи, но и имеет свои нюансы, связанные с географическим расположением месторождения, а также развитостью трубопроводного транспорта.

Gulf Coast выделяется гораздо большим преобладанием доказанных запасов на месторождениях, разрабатываемых с применением метода нагнетания CO<sub>2</sub>, причиной этого является гораздо большее время эксплуатации компанией данного региона (начиная с 1999 г.) и, вследствие этого, наличия развитой сети трубопроводного транспорта (700 миль), а также стабильного естественного источника углекислого газа – месторождения Jackson Dome, дающего до 90% всего используемого в данном регионе CO<sub>2</sub>. Помимо естественных источников компаний используются и отходы углекислого газа промышленных предприятий, получаемые на основании долгосрочных контрактов. На территории Rocky Mountain основной источник углекислого газа – контракты с газоперерабатывающими заводами таких компаний как ConocoPhillips и ExxonMobil.

Данный метод требует значительных объемов используемого углекислого газа (до 10000 т/сут). Вследствие этого, наличие стабильного месторождения со значительными запасами диоксида углерода является основополагающим фактором в достижении успеха от применения данной технологии.

Ещё одним ключевым фактором, влияющим на экономическую эффективность подобных проектов, является цена на нефть и CO<sub>2</sub>. Мировой экономический кризис 2015 года едва не обанкротил компанию Denbury, но, благодаря грамотно выстроенной финансовой политике, этого удалось избежать [5].

На основании информации предоставленной в финансовых отчетах компании удалось построить график безубыточной цены на CO<sub>2</sub> в зависимости от стоимости барреля нефти, при которой чистый дисконтированный доход будет равен 0.



**Рис. 3 Безубыточная цена CO<sub>2</sub> в зависимости от стоимости одного барреля нефти**

экономического использования, требуется достаточно весомое количество углекислого газа, что делает возможность его применения прерогативой компаний, на чьей территории присутствуют естественные источники двуокиси углерода, способные обеспечить их месторождения необходимым сырьем, в противном случае для многих месторождений рентабельность применения данной технологии находится под вопросом.

Данный график наглядно показывает, при каких условиях проекты по закачке углекислого газа в нефтяные месторождения могут быть экономически эффективны.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что закачка углекислого газа в пласт является эффективным способом увеличения нефтеотдачи пласта, позволяющим также решить вопрос с утилизацией диоксида углерода, являющегося отходом деятельности промышленных предприятий, что несомненно актуально на фоне мировой проблемы глобального потепления. Плюс ко всему данный метод является одним из наиболее безопасных для жизни и здоровья работников. Однако, для его успешного

#### Литература

1. Балинт В. Применение углекислого газа в добыче нефти / В. Балинт, А. Бан, Ш. Долешал – М: Недра, 1977. – 240 с.
2. Трухина О.С., Синцов И.А. Опыт применения углекислого газа для повышения нефтеотдачи пластов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 205-209
3. EPRI. Enhanced Oil Recovery Scoping Study. - Electric Power Research Institute, 1999. 148 p. URL: [http://www.energy.ca.gov/process/pubs/electrotech\\_opps\\_tr113836.pdf](http://www.energy.ca.gov/process/pubs/electrotech_opps_tr113836.pdf) (дата обращения: 14.03.2019)
4. Denbury Resources Inc. – Annual report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.denbury.com/Search-Results/default.aspx?SearchTerm=annual+report> (дата обращения 03.04.2019)

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНЫХ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ ОСВОЕНИИ И РЕМОНТЕ СКВАЖИН

**К.С. Жукова**

Научный руководитель - старший преподаватель К.С.Купавых  
**Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия**

В настоящее время основная часть невыработанных запасов нефти и газа является трудноизвлекаемыми, в России их доля составляет приблизительно 60% от общих запасов. Более того большая часть нефтегазовых месторождений находится на поздней стадии разработки, поэтому наблюдается снижение продуктивности скважин и увеличение обводненности продукции. В связи с этим возникает необходимость применения методов интенсификации притока нефти и увеличения нефтеотдачи для добычи как можно большего количества остаточной нефти и достижения большего коэффициента извлечения нефти.

В данной работе рассматривается один из важнейших вопросов разработки нефтяных месторождений – методы интенсификации добычи нефти и повышение нефтеотдачи пластов в осложненных физико-геологических условиях, а именно высоковязкие и парафинистые нефти, наличие нефтяных сланцев и газогидратов. Снижение коэффициента проницаемости по нефти обуславливается низкой подвижностью и высокой вязкостью нефти, а также отложениями асфальтено-смоло-парафинистых отложений (АСПО) в призабойной зоне пласта (ПЗП). Традиционные методы извлечения углеводородов не позволяют достичь высокого коэффициента извлечения нефти (КИН) в таких условиях. Целесообразно применять технологии воздействия на продуктивные пласты, такие как: электромагнитное, электрическое и гидродинамическое. Далее будут подробно рассмотрены каждый из методов и предложен наименее энергозатратный.

Метод электромагнитного воздействия заключается в генерировании в продуктивных пластах электромагнитных волн, под действием которых происходит уменьшение вязкости нефти из-за термического эффекта. Помимо этого, происходит очистка порового пространства пласта под воздействием давления [3]. При данном воздействии целесообразно закачивать в пласт электролит, например, солевой раствор. Являясь хорошим проводником электрического тока, он усиливает термический эффект. Также уменьшению вязкости способствуют переменное электрическое поле, которое вызывает колебания молекул жидких углеводородов с частотой, которая зависит от источника электроэнергии [2]. Но этот способ предназначен для обработки пластов, залегающих на небольшой глубине.

Способ вторичной добычи нефти при помощи инициирования в ней окислительно-восстановительных реакции. С применением электрического тока заключается в погружении в разные нефтенасыщенные зоны двух электродов. С помощью переменной составляющей тока между ними создают разность напряжений [1]. Амплитуда тока при этом должна обеспечивать протекание в нефти окислительно-восстановительных реакций, благодаря которым длинные цепи углеводородов будут распадаться на простые соединения с малой молекулярной массой. Это явление приводит к гидрированию нефти. Также в результате химических реакций уменьшается вязкость нефти, и